

КОЛЕБАТЕЛЬНАЯ СИСТЕМА ДЛЯ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ УДАРНОЙ ОБРАБОТКИ

Неверов А.Н., Приходько В.М.

Московский автомобильно-дорожный государственный технический университет
г. Москва, Россия, E-mail: neverov_an@mail.ru

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) позволяет существенно повысить характеристики изделий за счет изменения свойств поверхностного слоя при наклепе и вследствие возникновения значительных остаточных напряжений сжатия. Одним из наиболее перспективных способов ППД является ультразвуковая ударная обработка (УУО) [1].

Определяющим фактором эффективности УУО является амплитуда колебательной скорости излучателя [2].

Обычно для повышения амплитуд продольных колебаний используются акустические трансформаторы – стержни переменного сечения [2]. Основы расчета трансформаторов приведены в работах Л.Г. Меркулова, А.В. Харитонова, И.И. Теумина, Э. Эйснера и др. К настоящему времени, по мнению авторов, перспективы совершенствования таких устройств практически исчерпаны.

Существует, однако, и другая возможность – разделение функций преобразования электрических колебаний в механические и введения энергии упругих колебаний в обрабатываемый объект. Добротность системы в этом случае определяется исключительно добротностью инструмента и практически не зависит от свойств низкодобротного волновода-преобразователя. Этим обстоятельством определяется возможность существенного повышения амплитуды колебательной скорости на выходе системы [3].

Проведенные аналитические выкладки показали, что для этого необходимо выполнение следующих соотношений между добротностями инструмента Q_2 и преобразователя Q_1 и величиной $\beta = (\omega_2 C w_2)^{-1}$, где ω_2 и w_2 – собственная круговая частота и характеристическое сопротивление волновода-инструмента, C – эквивалентная податливость (величина, обратная упругости) соединительного элемента между инструментом и преобразователем:

- 1) величина $Q_2\beta$ должна быть достаточно мала;
- 2) добротность инструмента Q_2 должна быть много выше добротности преобразователя Q_1 ;
- 3) нагрузка на выходной торец колебательной системы должна быть малой.

Понятно, что для одновременного выполнения условий 1) и 2) необходимо, чтобы выполнялись неравенства

$$\beta \ll Q_2^{-1} \ll Q_1^{-1} \ll 1.$$

Эксперименты показали перспективность предложенного способа усиления.

На рисунке 1 приведены две схемы построения колебательных систем для УУО: общепринятая классическая [4] (а) и предлагаемая (б). В обеих схемах преобразователь 1 и инструмент 3 соединены шпилькой 6. В классической схеме акустический контакт между элементами осуществляется по всей площади соприкосновения.

В предлагаемой схеме преобразователь 1 и инструмент 2 соединены шпилькой 6, акустический контакт между преобразователем и шпилькой, инструментом и шпилькой осуществляется только по ниткам резьбы. Непосредственный стыковой акустический контакт между преобразователем и инструментом отсутствует.

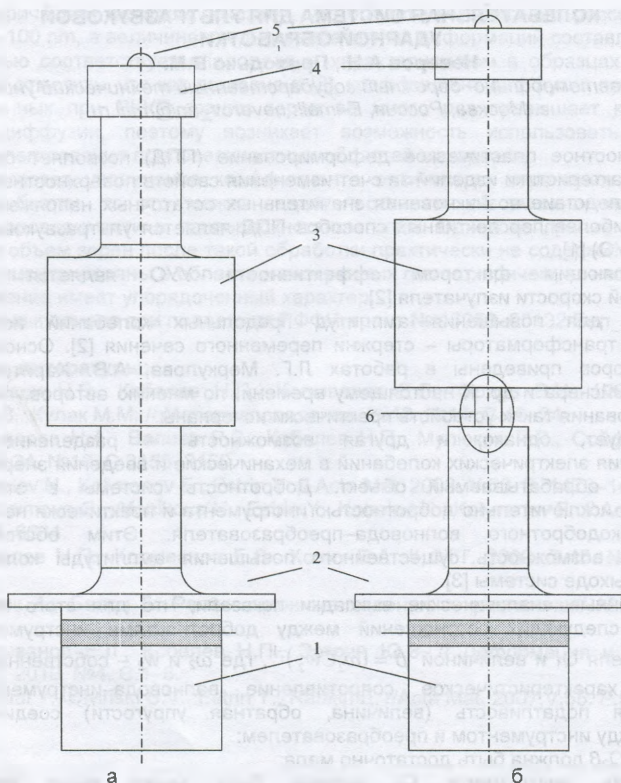


Рисунок 1 – Схемы построения колебательных систем для ультразвукового поверхностного пластического деформирования: а – классическая, б – предлагаемая.

1. Преобразователь.
2. Устройство крепления и прижима УКС к упрочняемой поверхности.
3. Инструмент.
4. Устройство крепления деформирующего элемента.
5. Деформирующий элемент.
6. Элемент связи (шпилька)

Определение основных характеристик колебательных систем проводилось на установке, состоявшей из ультразвукового генератора, усилителя, частотомера, осциллографа, бесконтактного вибрметра и исследуемых систем.

Для каждой из систем снимались амплитудно-частотные характеристики при постоянной амплитуде питающего электрического напряжения, по которым определялись резонансные частоты, добротности и амплитуды колебаний при резонансе.

Собственная частота преобразователя равнялась 22,4 кГц, максимальная амплитуда колебаний 5,2 мкм, добротность приблизительно 80.

Расчетная собственная частота ступенчатого инструмента 22,3 кГц.

Классическая колебательная система, составленная из этих элементов, имела резонансную частоту приблизительно 22,3 кГц, амплитуду при резонансе 12,3 мкм, добротность около 120.

Предлагаемая нами колебательная система, составленная из тех же преобразователя и инструмента, имела максимальную амплитуду 22 мкм на частоте 23,5 кГц, добротность системы при этом равнялась 1450.

Конечно, описанный способ не исключает применения обычных концентраторов. Нами, например, в схеме колебательной системы для УУО сочетались оба способа.

К недостаткам разработанной системы относятся, прежде всего, ее высокая импеданс-чувствительность и трудность настройки на максимальную амплитуду. Связано это, очевидно, с высокой добротностью системы, полоса пропускания которой составляет всего 16 Гц.

Тем не менее, вполне очевидна перспективность применения описанных колебательных систем в установках УУО.

Результаты работы показывают, что подбором соединительного элемента между преобразователем и инструментом можно повысить добротность системы почти до добротности инструмента, т.е. более, чем на порядок. Как известно, амплитуда колебаний при резонансе пропорциональна добротности, поэтому она должна вырасти также на порядок.

И если добротность системы в эксперименте действительно выросла более чем на порядок, то амплитуда в эксперименте увеличилась всего в 4,5 раза, а в установке для УУО – немного более чем в 2,5 раза.

Видимо, это связано с узостью частотной полосы системы (обратная сторона высокой добротности) и связанной с этим сложностью настройки. Тогда можно надеяться, что положение изменится в лучшую сторону с появлением более совершенных систем автоподстройки частоты.

Необходимо отметить еще один аспект обсуждаемой проблемы. Ввиду малости поперечного размера соединительного элемента в предлагаемой системе может произойти потеря динамической устойчивости с возникновением в колебательной системе изгибных колебаний. При продольном возбуждении системы параметрические изгибные колебания могут быть особенно сильны, когда частота возбуждающей продольной силы близка к двойной резонансной частоте поперечных колебаний. Потеря динамической устойчивости характеризуется резким уменьшением амплитуды продольных колебаний и существенным повышением амплитуды изгибных колебаний. Чтобы этого избежать, следует повышать жесткость соединительного элемента и исключить возможность появления параметрического резонанса.

Список литературы:

1. Галяш, А.А. Ультразвуковая ударная обработка: оборудование и технология [Текст] / А.А. Галяш // Ультразвуковые технологические процессы – 98: Сб. докладов науч – тех конф., 2–6 февр., 1998 /М.: МАДИ (ТУ), 1998. – с. 143 – 146
2. Казанцев, В.Ф. Источники ультразвука. [Текст] / В.Ф. Казанцев. – М.: Изд. «Техполиграфцентр». – 2010. – 252 с.
3. Неверов, А.Н. Возможности повышения амплитуды колебаний стержневых систем без использования концентраторов. [Электронный ресурс] / А.Н. Неверов // Техническая акустика. – Электронный журнал. – 2015. – 4. Режим доступа: <http://www.ejta.org>, свободный.
4. Казанцев, В.Ф. Физические основы технологического применения ультразвука: учеб. пособие [Текст] / В.Ф. Казанцев. – М.: МАДИ (ГТУ), 2008. – 102 с.